This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

KF
4283
NEDL TRANSFER
HN 5ZZ8 .
Digitized by Google

Digitized by Google

ÉTUDES

SUR LA

THÉORIE DU TÉLÉPHONE

PAR

M. E. MERCADIER

Professeur à l'École supérieure de Télégraphie, Directeur des études à l'École polytechnique.

Extrait des ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES, Janvier-Février et Mars-Avril 1886.

PARIS

Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1886

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

ÉTUDES

SUR LA

THÉORIE DU TÉLÉPHONE

Digitized by Google

IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION
RUE RACINE, 26, A PARIS.

Digitized by Google

A Monsieur Fizeau
Hommage respectueux de l'auteur
E. Mercadier

ÉTUDES

SUR LA

THÉORIE DU TÉLÉPHONE

PAR

M. E. MERCADIER

Professeur à l'École supérieure de Télégraphie, Directeur des études
à l'École polytechnique.

Extrait des ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES, Janvier-Février
et Mars-Avril 1886.

PARIS

Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1886

Digitized by Google

KF4283

HARVARD
UNIVERSITY
LIBRARY
JUN 1 1945

Degrand Fund

Digitized by Google

ÉTUDES

SUR LA

THÉORIE DU TÉLÉPHONE

L'usage du téléphone, au point de vue télégraphique proprement dit, devient de plus en plus général, et les essais récents de télégraphie téléphonique à grande distance sur les fils aériens et souterrains ayant donné des résultats satisfaisants, des recherches faites en vue d'éclairer la théorie du téléphone nous ont paru devoir présenter plus que jamais un grand intérêt; d'autant plus que ces études, d'abord théoriques, ont conduit à la construction d'appareils nouveaux susceptibles d'être utilisés dans la pratique.

Une étude complète du téléphone électro-magnétique comporte trois recherches principales, savoir :

I. Recherche du mécanisme en vertu duquel des ondes sonores simples, comme celles des sons musicaux, ou complexes, comme celles de bruits ou de la parole articulée, font varier le champ magnétique d'un aimant où se trouve une lame de fer ou d'acier, et produisent ainsi dans une hélice qui entoure l'aimant des courants induits.

Digitized by Google

II. Recherche de la nature intime de ces courants.

III. Recherche du mécanisme en vertu duquel la propagation de ces courants dans un appareil semblable au transmetteur, permet de reproduire les sons ou bruits qui leur ont donné naissance, avec leur hauteur, leur timbre, leur complexité, sauf une réduction considérable d'intensité.

De ces trois genres de recherches, le second n'a guère donné lieu qu'à des études théoriques, basées sur des hypothèses relatives au mécanisme qui doit faire l'objet du premier, et à quelques expériences en vue de déterminer l'intensité des courants induits téléphoniques.

Le troisième, au contraire, a été effectué, on peut le dire, sous presque toutes les faces, au point de vue expérimental, dans le but de chercher à accroître l'intensité des effets produits. Une quantité considérable de mémoires ont été publiés à ce sujet dans la plupart des pays du monde ; mais il est à remarquer que dans le plus grand nombre de ces recherches, on ne s'est pas servi comme transmetteur du récepteur lui-même, en profitant de sa réversibilité : on a employé des transmetteurs microphoniques à pile, dont les effets sont plus intenses, mais qui compliquent au fond les études de cette espèce.

Quoi qu'il en soit, peu de personnes ont cru devoir s'occuper de l'étude du *transmetteur* électro-magnétique lui-même et de son perfectionnement. Et l'on est étonné de lire, dans des livres scientifiques où la question du téléphone est traitée, que la théorie du téléphone électro-magnétique *transmetteur* n'offre pas de difficultés ! Je crois qu'il serait certainement plus exact

Digitized by Google

d'affirmer que cette théorie n'a pas encore été véritablement étudiée.

Jusqu'à présent, en effet, on s'en est à peu près tenu aux explications données par M. G. Bell dans son mémoire présenté à la Société des ingénieurs-télégraphistes de Londres, le 31 octobre 1877. Or, dans ce mémoire, si remarquable d'ailleurs, M. G. Bell a défini ce qu'il entend par courants ondulatoires, courants qui se succèdent d'une manière continue avec des intensités successivement croissantes et décroissantes; il a soutenu la nécessité de leur emploi pour reproduire, par des moyens électro-magnétiques, la parole articulée; mais le mécanisme même en vertu duquel ces courants sont produits, n'est pas nettement expliqué; toutes les explications à ce sujet se réduisent à dire que les courants en question sont les courants d'induction qui résultent des rapprochements et des éloignements de l'armature vibrante qui est en face du pôle d'un aimant, sous l'influence des ondes aériennes produites par la voix.

Et jusqu'à ce jour (du moins à ma connaissance), on n'a pas donné d'autre explication du mécanisme en vertu duquel l'énergie sonore, renfermée dans les ondes aériennes si complexes produites par la voix humaine est transformée en énergie électrique cinétique, sous la forme de courants induits, dits ondulatoires, par suite de l'interposition, entre les ondes et le pôle d'un aimant entouré d'une hélice, d'un diaphragme en matière magnétique comme le fer ou l'acier.

Je commencerai par indiquer une série de recherches, faites en vue de rendre compte, autant que possible, de ce mécanisme.

Digitized by Google

THÉORIE DU TRANSMETTEUR.

I. *Étude du diaphragme au point de vue élastique.*

Bien que ce ne soit nullement nécessaire, le diaphragme des téléphones a la forme d'un disque mince en fer ou en acier. Avant de l'étudier au point de vue spécial de son application au téléphone, il était indispensable de l'étudier en lui-même, au point de vue de ses propriétés élastiques ou acoustiques.

Dans un travail précédent (*) j'ai étudié les vibrations des lames en fer et en acier de forme rectangulaire allongée : j'ai montré que la formule (1) $n = K \frac{e}{l^2}$ qui en résume les lois, et dans laquelle n est le nombre de vibrations complètes, e, l'épaisseur, l, la longueur, K, un coefficient égal à 5.320.134 pour le fer ou l'acier, est suffisamment exacte pour qu'on puisse construire des lames rectangulaires donnant à 1 ou 2 p. 100 près, le son calculé d'avance d'après leurs dimensions.

A ce moment, la vérification n'avait porté que sur les lames dont l'épaisseur n'était pas inférieure à $1^{mm},32$. Il importe, pour ce qui va suivre, de montrer que la loi est exacte, dans les limites indiquées, jusqu'à des épaisseurs de 11 à 12 millimètres d'une part, $0^{mm},5$ de l'autre : on ne peut guère aller plus loin, les lames plus minces se prêtant mal à des observations un peu précises.

Voici en effet un tableau d'expériences faites avec six lames d'acier de 14 centimètres de longueur sur 3 cen-

(*) *La lumière électrique*, t. XII, p. 81, 19 avril 1884. — *Journal de physique*, 1884, 2e série, t. III. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCVIII, p. 603 et 911.

Digitized by Google

timètres de largeur, et deux beaucoup plus grandes, tableau qui peut faire suite à celui qui se trouve dans mon précédent mémoire et que je vais reproduire, en distinguant par des accents les lames récemment étudiées (tableau I).

TABLEAU I.

NUMÉROS.	NATURE du métal.	LONGUEUR.	LARGEUR.	ÉPAISSEUR.	NOMBRE DE VIBRATIONS observé.	NOMBRE DE VIBRATIONS calculé.	DIFFÉRENCES	ERREURS relatives.
		millim.	millim.	millim.				
1	Fer. . . .	315,0	51,2	1,320	69,93	70,78	—0,85	—0,010
2	Acier. . .	149,0	20,0	1,500	368,25	359,45	+8,80	+0,020
3	Fer. . . .	299,0	80,0	4,130	240,20	245,77	—5,57	—0,020
4	Acier. . .	153,5	32,0	1,750	391,20	395,13	—3,93	—0,010
1′	— . . .	140,0	30,0	1,030	280,00	279,60	+0,40	+0,003
2′	— . . .	—	—	1,040	288,00	282,20	+5,80	+0,020
3′	— . . .	—	—	0,740	198,00	200,90	—2,90	—0,015
4′	— . . .	—	—	0,758	202,00	205,60	—3,60	—0,015
5′	— . .	—	—	0,511	134,78	138,70	—3,90	—0,028
6′	— . . .	—	—	0,512	137,78	138,97	—1,19	—0,010
7′	— . . .	678,0	109,0	11,550	133,28	133,67	—0,39	—0,003
8′	— . . .	678,0	10,5	11,550	133,15	133,67	—0,52	—0,004

Je me suis proposé d'étudier de la même manière les lames circulaires.

La théorie mathématique des vibrations de ces lames, établie successivement par Sophie Germain, Poisson, Wertheim et M. Kirchhoff, comporte plusieurs genres de vérifications expérimentales. Nous allons examiner d'abord celle qui est relative aux nombres de vibrations.

La formule relative au nombre n de vibrations complètes par seconde, d'un disque d'épaisseur e et de diamètre d, est identique à celle des lames rectangulaires :

$$n = K_e \frac{e}{d^2}, \tag{2}$$

Digitized by Google

K_c représentant un coefficient fonction du coefficient d'élasticité et de la densité du disque, et de plus, d'une certaine quantité au sujet de laquelle on est forcé de faire une hypothèse lorsqu'on veut calculer n en valeur absolue. Nous reviendrons sur ce point, et, tout d'abord, nous ne considérerons que des rapports de nombres pour lesquels K_c pourra être considéré comme constant et sera par suite éliminé.

Strehlke (*) et Wertheim (**), ont fait quelques vérifications partielles de la formule (2), mais à un point de vue spécial. Wertheim, en particulier, ne détermine les rapports des nombres de vibrations de disques de fer, laiton et verre que pour vérifier l'hypothèse dont il vient d'être question; mais la *forme* même de la formule (2) n'est pas mise en question.

Je l'ai étudiée sur des disques en fer et en acier.

La mesure des éléments de la formule s'effectue pour le diamètre, avec une grande exactitude. Pour l'épaisseur, on la détermine directement en des points nombreux du disque d'une part, et, d'autre part, on la déduit des dimensions, du poids et de la densité, ce qui permet une vérification.

Quant aux nombres n, je les ai déterminés très exactement en les enregistrant sur le cylindre d'un chronographe. J'ai employé à cet effet un appareil analogue à celui qui m'avait servi pour l'étude des plaques rectangulaires (*fig.* 1). Une plate-forme circulaire en cuivre porte trois glissières G, dirigées suivant les bissectrices d'un triangle équilatéral et dans lesquelles peuvent glisser des tiges en liège t. La plate-forme est portée sur deux pieds A, le long d'une règle

(*) *Annales de Poggendorf*, 1855.
(**) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XXXII.

Digitized by Google

en bronze solidement fixée à un pied en fonte P. Le disque *d* en fer ou en acier est *posé* sur les trois pointes en liège *t* formant les sommets d'un triangle équilatéral inscrit dans la circonférence qui constitue la ligne nodale du premier harmonique des plaques circulaires,

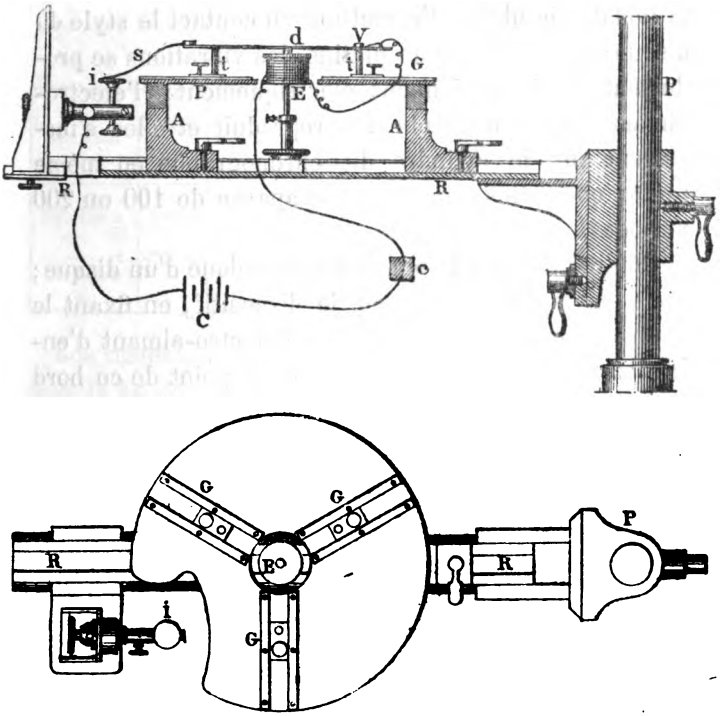

Fig. 1.

et dont le rayon est d'environ les 0,68 de celui de la plaque. Un style *s* en platine est fixé sur le bord, en face d'une plaque de platine *i* faisant partie d'un circuit qui comprend : une pile *c* ; un petit électro-aimant *e* dont la palette extrêmement mobile est armé d'un

Digitized by Google

style qui effleure la bande de papier enfumé enroulée sur le cylindre du chronographe qui n'est pas figuré; un autre électro-aimant E dont le pôle est au-dessous du centre du disque; et enfin le disque lui-même, par l'intermédiaire d'un fil fin de cuivre qui réunit le bout de l'hélice du dernier électro-aimant à un point V de la nodale circulaire. En mettant en contact le style du disque avec la plaque de platine, les vibrations se produisent et s'entretiennent électriquement; l'électro-aimant du chronographe les reproduit et elles s'inscrivent sur le cylindre du chronographe en même temps que celles d'un électro-diapason de 100 ou 200 périodes.

On produit ainsi le premier harmonique d'un disque; mais en modifiant un peu le dispositif, en fixant le centre de la plaque, en plaçant l'électro-aimant d'entretien près du bord, et appuyant un point de ce bord contre un obstacle quelconque, on produit le son fondamental. Mais la première disposition est préférable, parce qu'elle est plus simple, et que le disque, tout en étant très stable, est certainement plus libre dans ses mouvements : elle est d'ailleurs la seule applicable lorsqu'on veut opérer sur des disques de grand diamètre ou de faible épaisseur. En effet, dans les deux cas, il est rare qu'on puisse obtenir un son fondamental unique ; il y en aura généralement deux correspondant aux deux axes d'élasticité produits par le laminage, et dont la différence de hauteur varie d'un comma à une seconde mineure (je reviendrai plus tard sur ce point) : il en résulte, outre la difficulté de l'entretien électrique, une source d'erreurs qu'il faut éviter : l'une et l'autre sont beaucoup moindres pour le premier harmonique.

Digitized by Google

Cela étant, lorsqu'on cherche à vérifier la loi des diamètres qui résulte de la formule (2), on trouve des erreurs relatives beaucoup plus considérables que celles qui peuvent provenir des mesures de d et de n et qui ne dépassent certainement pas 1/500.

En voici, entre autres, un exemple pour des disques en fer doux de $0^m,20$ de diamètre réduits à $0^m,15$.

TABLEAU II.

DISQUES.	ÉPAISSEUR.	d	n	$\frac{n'}{n}$	$\frac{d^2}{d'^2}$	DIFFÉRENCES.	ERREURS relatives.
Numéro 1.	$1^{mm},5$	$20^{cm},10$	309,02	»	»	»	»
— 1'.	»	15 ,07	516,02	1,67	1,78	0,11	0,06
— 2.	$0^{mm},95$	20 ,10	167,95	»	»	»	»
— 2'.	»	15 ,05	307,00	1,83	1,78	0,05	0,03

Les résultats ne sont pas meilleurs quand on considère la loi des épaisseurs à diamètre égal.

En réduisant l'épaisseur des disques au-dessous de 1 millimètre, les résultats sont plus défectueux encore.

On pouvait espérer de meilleures vérifications avec des disques en acier; mais il n'en est rien. On en jugera nettement d'après les résultats ci-dessous, obtenus sur des disques d'acier fondu aussi homogène que possible, de qualité supérieure, travaillé exprès avec beaucoup de soin, en vue de ces expériences.

Le tableau suivant se rapporte à douze de ces disques de même acier : chaque série de quatre disques de même épaisseur a été découpée dans la même bande d'acier : la densité et le coefficient d'élasticité doivent y être constants : dans ces conditions, d'après la théorie, le rapport des nombres de vibrations doit être le même que celui des épaisseurs ou des poids, à dia-

Digitized by Google

mètre égal, condition réalisée ici, car tous les disques avaient exactement 10 centimètres de diamètre.

Les épaisseurs ont été mesurées en huit points à $0^{mm},01$ près. Les vibrations n'ont pas été enregistrées : les premiers essais avaient montré une telle discordance entre la théorie et l'expérience qu'il a paru très suffisant d'évaluer les sons à l'oreille, par comparaison avec des diapasons très bien étalonnés, car ces évaluations, pour une oreille exercée, ne sont certainement pas erronées d'un comma, c'est-à-dire d'environ 0,01.

TABLEAU III.

NUMÉROS.	ÉPAISSEUR e	POIDS p	RAPPORT des poids $\frac{p'}{p}$	SONS.	RAPPORT des nombres de vibrations $\frac{n'}{n}$	DENSITÉS calculées.	DIFFÉRENCES entre $\frac{n'}{n}$ et $\frac{p'}{p}$.	ERREURS relatives.
	mm.	gr.						
1	1,010	64,01	»	$Si\flat_4$ — 1 comma	»	7,91	»	»
2	1,010	64,20	1,003	Id.	1,000	7,93	— 0,003	— 0,003
3	1,013	64,42	1,006	$Si\flat_4$	1,013	7,93	+ 0,007	+ 0,007
4	1,025	65,11	1,017	$La\sharp_4$	1,025	7,93	+ 0,008	+ 0,008
5	0,694	43,81	»	Fa_4	»	7,88	»	»
6	0,693	43,95	1,003	$Fa\sharp_4$	1,068	7,92	+ 0,065	0,070
7	0,698	44,03	1,005	$Ré_4$ + 1 comma	0,854	7,87	— 0,151	0,160
8	0,707	44,82	1,023	Mi_4 + 1 comma	0,962	7,91	— 0,061	0,060
9	0,503	32,03	»	$Ré_4$	»	7,96	»	»
10	0,507	32,37	1,009	$Ré\sharp_4$	1,068	7,97	+ 0,059	0,057
11	0,509	32,72	1,020	$Ré_4$ — 1 comma	0,988	8,02	— 0,032	0,930
12	0,519	33,07	1,031	$Si\flat_3$	0,790	7,95	— 0,241	0,260

On voit nettement dans ce tableau que si la première série de disques de 1 millimètre d'épaisseur donne des résultats satisfaisants, il n'en est pas de même pour les deux autres séries comprenant des disques de $0^{mm},7$ et $0^{mm},5$ d'épaisseur.

Ainsi, dans la deuxième série, le son du disque n° 6

Digitized by Google

devrait à peine différer de celui de la plaque 5 et il lui est supérieur d'une seconde mineure; les sons des disques 7 et 8 devraient être plus aigus que celui du disque 5, tandis qu'ils sont plus graves, l'un d'une tierce majeure, l'autre d'une seconde mineure.

Mêmes discordances dans la 3e série : les sons des disques 11 et 12 devraient être plus aigus que le son 9, et, en particulier, le son 12, qui devrait être plus aigu d'environ une seconde mineure, est plus grave de plus d'une tierce majeure, ce qui constitue un écart d'une quarte qui dépasse toute prévision.

En présence de ces résultats, on est naturellement conduit à les attribuer à l'hétérogénéité de la matière des disques et à en essayer de plus épais.

A cet effet j'ai fait découper dans une même bande d'acier fondu, et côte à côte, 7 disques de même diamètre, 10 centimètres, et dont les épaisseurs ont été réduites par le rabotage à 10, 9, 8, 6, 5, 4 et 3 millimètres.

Les poids et les épaisseurs de ces disques ont été déterminés avec une grande exactitude, sans difficultés.

Quant au nombre des vibrations, on a évalué celui du son fondamental; mais il est trop grand pour pouvoir être enregistré électriquement sans de grandes difficultés. Les sons des disques ont été comparés à ceux de 3 diapasons faisant partie d'une série étalonnée avec le plus grand soin par M. Kœnig et donnant l'ut_6, le sol_6 et l'ut_7. L'évaluation du nombre des vibrations a été faite d'après les battements et les sons résultants : chacun de ces nombres est la moyenne de 2 ou 3 mesures concordantes effectuées en comparant les sons des disques avec deux des trois diapasons étalons.

Digitized by Google

La densité, *mesurée* sur deux de ces disques, est égale à 7,82 ; la moyenne de celles qui ont été calculées est 7,79 (tableau IV).

TABLEAU IV.

NUMÉROS.	POIDS p	$\frac{p'}{p}$	e	n	$\frac{e'}{e}$	$\frac{n'}{n}$	DIFFÉRENCES	ERREURS relatives.	DENSITÉ calculée.
	gr.		mm.						
1	186,55	»	3,050	1,598	»	»	»	»	7,787
2	242,42	1,300	3,970	2,051	1,300	1,280	—0,020	0,015	7,775
3	306,23	1,640	5,010	2,628	1,640	1,640	—0,000	0,000	7,782
4	367,12	1,970	6,020	3,132	1,970	1,960	—0,010	0,005	7,765
5	489,03	2,620	7,985	4,137	2,620	2,580	—0,029	0,010	7,799
6	554,04	2,970	9,046	4,689	2,970	2,934	—0,036	0,010	7,798
7	613,03	3,286	10,000	5,228	3,278	3,271	—0,007	0,002	7,805

En rapprochant ce tableau du précédent, il est impossible de n'en pas conclure que la discordance entre les résultats de la théorie et de l'expérience est d'autant plus grande que les disques sont plus minces à partir d'une certaine épaisseur qu'on peut fixer de 1 à 2 millimètres. Au-dessus de cette limite, la loi des épaisseurs se vérifie à 1 p. 100 près, ce qui, vu la difficulté des mesures des nombres n, peut être considéré comme satisfaisant.

Il est nécessaire de chercher à se rendre compte de ce résultat.

Parmi les hypothèses diverses sur lesquelles s'appuie la théorie des lames circulaires, il en est une qui n'est certainement pas remplie pour l'acier : c'est celle d'une homogénéité parfaite dans toute l'étendue de la lame. Il y a, en effet, dans toute masse d'acier, des soufflures et des agglomérations de matières, de composition chimique et de dimensions différentes, répar-

Digitized by Google

ties dans la masse sans aucune régularité. On s'en aperçoit nettement quand on attaque une lame d'acier lentement par un acide, ou quand on l'examine au microscope dans des conditions convenables. Il en résulte pour une lame circulaire que, bien que la densité reste sensiblement constante, l'élasticité peut varier notablement dans la direction de certains rayons, par suite de la dissymétrie moléculaire à la fois physique et chimique.

Il faut ajouter à cela que le laminage produit toujours deux axes d'élasticité, ce qui augmente encore la dissymétrie par rapport aux rayons.

Cette hétérogénéité intérieure peut être mise en évidence dans les disques minces, sans les altérer en rien, par des expériences qualitatives très simples. Il suffit de les poser sur des tiges de liège formant les sommets d'un triangle équilatéral inscrit dans la nodale circulaire relative au premier harmonique, et d'essayer de produire cette nodale avec du sable, en frappant le disque au centre avec un petit marteau de liège.

A une homogénéité complète autour du centre doit correspondre une nodale parfaitement circulaire; or, c'est un cas qui se présente assez rarement dans les disques d'une épaisseur inférieure à 1 millimètre. On obtient (fig. 2) soit des cercles plus ou moins déformés, soit des ellipses (*a*) dont un axe a le plus souvent la direction des stries légères produites par le laminage, déformation que tous les observateurs, Chladni, Strehlke, Werthein, ont signalée dans des circonstances analogues; soit des ellipses déformées en ovoïdes (*b*); soit des triangles curvilignes (*c*) présentant une grande netteté quand leurs sommets coïnci-

Digitized by Google

dent sensiblement avec les trois points d'appui ; soit des sortes d'hexagones (*d*) dont les sommets seuls sont

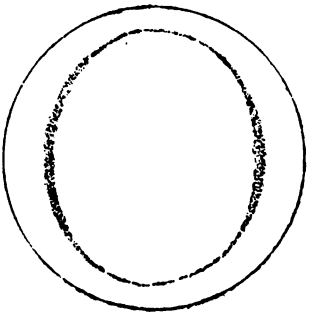

Fig. 2 (*a*).

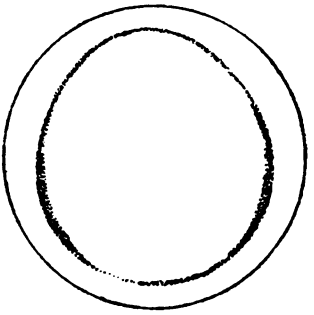

Fig. 2 (*b*).

bien marqués par des amas de sable dans certains azimuts ; soit enfin aucune forme nette de nodale.

Dans les plaques découpées côte à côte dans la

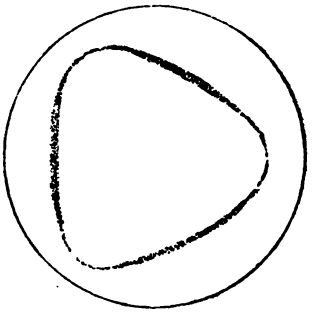

Fig. 2 (*c*)

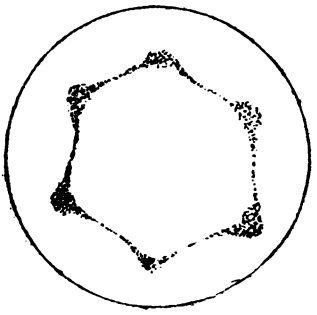

Fig. 2 (*d*).

même lame d'acier, toutes choses égales d'ailleurs, ces déformations de la nodale circulaire sont souvent différentes. Il en est de même quand on produit avec l'archet, par exemple, en appuyant les disques sur les doigts, les nodales complexes qui correspondent à des

Digitized by Google

harmoniques de plus en plus élevés; elles présentent quelquefois des différences caractéristiques et très notables, car certains axes de symétrie qui existent dans les unes manquent dans les autres. C'est ce qu'on voit par exemple dans les figures 3 et 3 *bis*, renfermant les

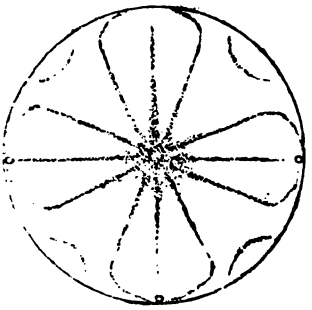

Fig. 3.

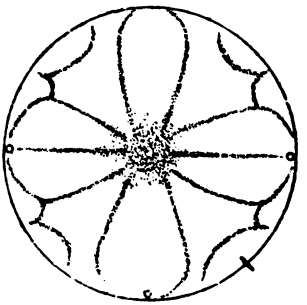

Fig. 3 *bis*.

figures nodales du même harmonique aigu de deux disques de même épaisseur, découpées dans la même bande d'acier.

D'autre part, à ces indices certains d'hétérogénéité moléculaire visibles à l'œil, correspondent, comme on l'a dit plus haut, pour le son fondamental des indices sensibles à l'oreille. Lorsque les déformations de la nodale circulaire s'accentuent, on entend deux sons simultanés qui peuvent différer de 1 à 2 commas, autres que les harmoniques, dont l'intensité relative est variable quand on fait tourner les plaques sur elles-mêmes dans leur plan, et qui produisent des battements.

La trempe ne paraît pas jouer un rôle notable dans ces phénomènes, car ils se produisent dans des lames de fer doux et des lames de fer-blanc, et d'ailleurs voici des expériences faites sur quatre disques d'acier

Digitized by Google

de même diamètre, $0^m,15$, découpés, deux à deux, dans une même plaque d'acier, et recuits après le découpage (tableau V).

TABLEAU V.

NUMÉROS.	e	n	$\frac{e'}{e}$	$\frac{n'}{n}$	DIFFÉRENCES.	ERREURS relatives.
	millim.					
1	1,03	394	»	»	»	»
2	0,04	360	1,010	0,914	—0,096	0,10
3	0,740	324	»	»	»	»
4	0,758	404	1,024	1,248	+0,224	0,20

On retrouve là des discordances comparables à celles déjà signalées. En outre, les lames n°s 1 et 2 ont une nodale elliptique, le n° 3 n'a pas de nodale de forme déterminée, et le n° 4 a pour nodale un cercle un peu déformé. Deux autres disques de même provenance donnent des différences de 4 à 5 p. 100, et ont des nodales circulaire déformée pour l'une, et triangulaire curviligne, à angles très ouverts, pour l'autre.

Les causes indiquées plus haut de l'hétérogénéité qui se manifeste ainsi très simplement dans les disques minces existent toujours dans les disques épais; mais on comprend que leur influence soit de moins en moins sensible au fur et à mesure que l'épaisseur augmente, d'autant plus que la difficulté de produire la division des plaques en segments caractéristiques des harmoniques augmente en même temps. On conçoit que les différences entre la théorie et l'expérience ne commencent à se manifester nettement que lorsque l'épaisseur des plaques est d'un ordre de grandeur comparable aux dimensions des groupes de molécules qui diffèrent au

Digitized by Google

point de vue physique et chimique, et produisent la dissymétrie par rapport aux rayons.

Cette explication est confirmée par ce fait remarquable que, dans un corps élastique où la symétrie n'est nécessaire que dans une ou deux directions, comme les lames rectangulaires allongées, la discordance signalée plus haut dans les disques minces n'existe plus, ou tout au moins reste comparable aux erreurs inévitables de l'expérience.

En effet, le premier tableau inscrit au commencement de ce mémoire montre que les lois théoriques des vibrations de ces lames rectangulaires s'appliquent, avec des écarts de 1 à 2 p. 100 au plus, à des épaisseurs variant de 1 à 23, de $0^{mm},5$ à $11^{mm},5$.

En second lieu, j'ai fait découper dans les disques 1, 2, 3, 4, ci-dessus, quatre plaques rectangulaires 1′, 2′, 3′, 4′ de 140 millimètres de longueur, sur 30 millimètres de largeur; j'ai déterminé leurs nombres de vibrations. Le tableau VI montre les résultats comparatifs des expériences.

TABLEAU VI.

NUMÉROS.		e	n	$\frac{e'}{e}$	$\frac{n'}{n}$	DIFFÉRENCES.	ERREURS relatives.
DISQUES.	1	1,03	394	»	»	»	»
	2	1,04	360	1,010	0,914	—0,096	—0,10
	3	0,740	324	»	»	»	»
	4	0,758	404	1,024	1,248	+0,224	+0,20
LAMES rectangulaires.	1′	1,03	280	»	»	»	»
	2′	1,04	288	1,010	1,028	+0,018	+0,018
	3′	0,740	198	»	»	»	»
	4′	0,758	202	1,024	1,020	—0,004	—0,004

Digitized by Google

On retrouve ainsi entre les rapports $\frac{n'}{n}$ et $\frac{e'}{e}$, dans des disques de 15 centimètres de diamètre et de 1 millimètre et $0^{mm},75$ d'épaisseur, les différences de 10 à 20 p. 100, déjà trouvées pour des disques de 10 centimètres de diamètre et de $0^{mm},70$ et $0^{mm},50$ d'épaisseur; l'augmentation du diamètre augmente le désaccord et le manifeste jusque dans les disques de 1 millimètre d'épaisseur. Au contraire, on voit que dans les lames rectangulaires découpées dans les disques, le désaccord diminue jusqu'à 0,18 et 0,004.

Il me semble qu'on peut juger ainsi du degré de probabilité des explications que je viens de donner.

Les conclusions qu'on peut tirer de ces résultats sont d'abord : que la théorie mathématique des lames circulaires vibrantes n'est pas ébranlée, puisque les divergences manifestées entre ces résultats et ceux de de l'expérience se trouvent expliquées par des circonstances qui paraissent difficilement accessibles au calcul. En tout cas, on voit que plus l'épaisseur augmente, plus l'accord est grand entre la théorie et l'expérience : par suite, quand il s'agira de faire des vérifications nouvelles de la théorie, il faudra expérimenter sur des disques de faible rayon et d'assez grande épaisseur.

En second lieu, au point de vue pratique, on voit qu'il n'est pas possible de construire, autrement que par tâtonnements des disques de fer ou d'acier, d'épaisseur inférieure à 1 millimètre (quand le diamètre

Digitized by Google

est d'environ 100 millimètres), donnant un son calculé d'avance d'après leurs dimensions.

Je ne pousserai pas plus loin cette étude des disques au point de vue élastique; ce qui précède suffit pour l'objet que j'ai en vue; je passe à l'étude de ces disques à un autre point de vue.

II. *Étude du diaphragme au point de vue téléphonique.*

Rappelons avant tout, ce qu'on peut appeler la définition d'un téléphone transmetteur.

Un téléphone électro-magnétique transmetteur tel que M. G. Bell l'a réalisé après de nombreux essais, se compose essentiellement d'un diaphragme en forme de disque mince, en fer ou en acier, encastré sur ses bords, à peu de distance d'un pôle d'aimant ou d'électro-aimant entouré d'une hélice métallique.

Quand on relie les deux bouts de l'hélice à celle d'un appareil semblable, servant de *récepteur*, on reconnaît au transmetteur les caractères suivants :

1° Quand on produit des vibrations simples de l'air, dans le voisinage du disque, ces vibrations se trouvent reproduites à distance par le récepteur, avec leur *période* et une intensité beaucoup moindre;

2° Si l'on produit simultanément plusieurs vibrations simples, formant par exemple des accords, le récepteur les reproduit aussi sans altération des intervalles;

3° Si les vibrations sont plus complexes, comme celle de la parole articulée, leur articulation est repro-

(*) Voir le numéro de janvier-février 1886.

Digitized by Google

duite, et leur timbre aussi, au moins approximativement;

4° Si l'on fait *varier d'une manière continue* la période (la hauteur) des sons, des accords ou des sons complexes correspondant à ces vibrations, le récepteur les reproduit d'une manière continue.

Cette continuité dans les effets produits est la propriété capitale et caractéristique du téléphone. Elle suppose évidemment dans le diaphragme du transmetteur, la possibilité de mouvements très complexes et susceptibles de varier d'une manière continue dans leurs éléments. C'est le premier point à étudier.

[A] *Rôle du diaphragme au point de vue élastique, relativement à la nature des mouvements qu'il effectue.*

Le diaphragme est un corps élastique susceptible de vibrer; j'appellerai sons *particuliers* ou *propres* de ce diaphragme, ceux qu'il est capable de produire (fondamental et harmoniques) en vertu de son élasticité, de sa forme géométrique, de la nature de son support, et caractérisés par l'existence de lignes nodales déterminées.

Quand on produit dans l'air devant le diaphragme des mouvements vibratoires simples ou complexes comme ceux qui résultent de la parole articulée, il s'agit de savoir si les mouvements qui se produisent sont ceux qui correspondent aux sons particuliers du diaphragme, ou des mouvements d'une autre nature.

I. — Il est à remarquer d'abord que, dans le fonc-

Digitized by Google

tionnement ordinaire du téléphone transmetteur, le diaphragme n'est jamais mis en mouvement, comme on le fait quand on veut produire la série des harmoniques et des lignes nodales qui les caractérisent; car on ne les abandonne pas à eux-mêmes lorsqu'ils ont commencé à vibrer, on ne laisse pas un libre jeu à l'action des forces élastiques; en un mot, les mouvements qu'ils peuvent effectuer sont des mouvements *forcés*. Observation importante, car, si l'on ne peut en conclure l'impossibilité des mouvements correspondant aux sons *particuliers* du diaphragme, elle permet déjà de concevoir la possibilité de mouvements d'une autre nature.

II. — En second lieu, la *continuité* nécessaire des mouvements indiqués ci-dessus est en contradiction avec les résultats de la théorie des disques vibrants et de l'expérience.

En effet, considérons, en premier lieu, un disque vibrant *librement :* il ne peut prendre qu'une série *limitée* de déformations correspondant au son fondamental, et à ses harmoniques, et il y en a très peu : 2 dans l'octave du son fondamental, 2 dans la 2e octave; 4 dans la 3e; 4 dans la 4e,... etc.

L'expérience confirme ces résultats, même pour des disques de fer, de fer-blanc, ou d'acier très minces, tels que ceux des téléphones ordinaires. Les résultats qu'on obtient en effet, en étudiant les diaphragmes dont on se sert dans la fabrication usuelle des transmetteurs téléphoniques, ne diffèrent pas de ceux que nous avons indiqués dans la première partie de ces études pour des disques minces en acier le meilleur possible et le mieux travaillé.

Ainsi : 1° ils présentent la même hétérogénéité inté-

Digitized by Google

rieure, manifestée à l'oreille, par des battements de sons simultanés, quand on produit le son fondamental, et à l'œil, par les déformations de la nodale circulaire du 1er harmonique. En voici un exemple pour fixer les idées. J'ai pris au hasard 114 diaphragmes en fer-blanc, de $0^m,10$ de diamètre et de $0^{mm},6$ à $0^{mm},7$ d'épaisseur, servant à construire des transmetteurs d'Arsonval. Sur ce nombre, 10 p. 100 ont présenté une nodale circulaire, et donnent un son musical assez pur; 35 p. 100 ont une nodale circulaire un peu déformée; 30 p. 100 sont médiocres au point de vue acoustique: ou bien leur nodale est franchement elliptique, comme l'indique la figure 2 *a*, ou bien elle a la forme ovoïde correspondant à la figure 2 *b*; leur son est généralement médiocre. Enfin 25 p. 100 produisent généralement un son mauvais et ont des nodales encore plus déformées; soit que l'un des axes de la figure s'allonge à une extrémité; soit que la nodale prenne la forme triangulaire curviligne de la figure 2 *c*, qui n'est bien nette que lorsque les trois sommets coïncident avec les trois points d'appui en triangle équilatéral des supports sur lesquels les disques sont placés, et il est à remarquer que, dans cette position, le son du disque est généralement pur; soit que la nodale ait la forme hexagonale de la figure 2 *d*, ou enfin qu'il n'y ait pas de nodale nette, auquel cas le disque ne rend qu'un son mat ou plutôt un *bruit sonore*.

2° Des diaphragmes de ce genre qui ne sont pas travaillés avec soin, ou dont la surface est étamée ou nickelée, et dont l'épaisseur varie, par suite, généralement en chaque point, offrent d'ailleurs, cela va sans dire, la même discordance que les disques minces du meilleur acier, entre la théorie et l'expérience, en

Digitized by Google

ce qui concerne la hauteur des sons fondamentaux et des harmoniques.

3° Enfin, et c'est le point sur lequel il y a lieu d'insister actuellement, les sons particuliers de ces disques, fondamental et harmoniques, forment toujours une série *discontinue* et *limitée*.

Considérons maintenant des diaphragmes, non plus libres, mais encastrés sur leur contour, comme ils le sont dans les téléphones.

Dans ce cas, la théorie supposant des disques infiniment minces et un encastrement *absolu*, c'est-à-dire où tous les points encastrés sont complètement *immobiles*, indique qu'un tel encastrement fait seulement varier légèrement la hauteur du son fondamental et des premiers harmoniques qu'avait le disque non encastré; mais ils restent toujours discontinus et en nombre limité.

Voici ce que dit Wertheim à ce sujet (*Annales de physique et de chimie*, 3e série, t. XXXI, p. 18) : « On « ne peut vérifier cette partie de la théorie, puisqu'il « est impossible d'encastrer une plaque sur toute sa « circonférence; cependant on peut obtenir des sons et « des figures correspondantes qui forment la transition « du bord libre au bord encastré, et qui s'accordent « tout à fait avec la théorie. A cet effet, on fixe cer- « tains points de la circonférence au moyen d'un sup- « port à bouchons et l'on continue à ébranler par le « centre; on obtient alors de ces figures à festons qui « sont connues depuis Chladni, mais dont la théorie « n'a pas encore été donnée, et en même temps, le son « monte sensiblement tant qu'on n'a pas dépassé le « troisième son. Les figures ne se sont bien formées « que sur les plaques en laiton... »

Digitized by Google

En premier lieu, notons ce dernier point, car il n'est pas réalisé dans le téléphone, où l'on n'emploie jusqu'ici que des lames en fer (*) ou en acier.

En second lieu, il est à remarquer que les figures dont parle Wertheim, et qui sont des sortes de cercles festonnés, n'ont jamais été obtenus qu'en employant des moyens énergiques tels que celui qui consiste à percer au milieu de la plaque un trou dont on frotte les bords avec une mèche de crin colophanée, ce qui n'a véritablement qu'un rapport extrêmement éloigné avec le mode d'ébranlement qui consiste à parler sur le centre de la plaque.

Il paraît donc nécessaire de voir quels peuvent être les effets de l'encastrement dans les cas des plaques habituellement en usage en téléphonie, et avec un mode d'ébranlement en rapport avec celui qu'on y emploie.

A cet effet, dans un téléphone de forme particulière que j'ai fait construire pour servir à des études variées, je puis, à volonté, serrer la membrane de fer étudiée,

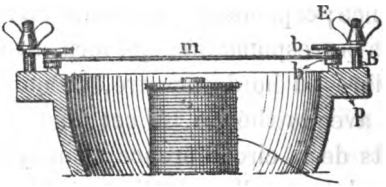

Fig. 4.

m, sur une portée bien plane circulaire, *p*, avec un anneau plat de bronze épais, à l'aide de huit écrous E,

(*) Wertheim n'a jamais employé dans ses expériences qu'un disque en fer doux, et il avait une grande épaisseur, 4mm,18, condition indispensable, ainsi qu'on l'a vu, pour que la théorie soit vérifiée.

Digitized by Google

placés au sommet d'un octogone, ou bien en encastrer successivement entre de petits blocs de cuir *b*, huit points de la circonférence (les autres restant libres), à l'aide de brides convenables B serrées par les huit écrous.

J'ai soumis à des expériences de ce genre des plaques de toutes les catégories spécifiées précédemment et j'ai observé les faits suivants :

En encastrant un point de la circonférence d'une de ces plaques, on obtient, en la frappant au centre à petits coups répétés, un mélange de sons confus, plus ou moins clairs, mais il est impossible d'obtenir une figure nodale stable quelconque.

En essayant d'entretenir électriquement le mouvement à l'aide d'un style placé au centre de la plaque, on peut obtenir, avec beaucoup de difficultés, un son continu qui s'entend à peine.

On peut étudier ainsi ce qui arrive quand on fixe successivement entre deux blocs de cuir 2, 3, 4... points de la circonférence du disque, ou quand, appliquant cette circonférence sur la portée du support et l'anneau de bronze au-dessus, on serre successivement les écrous. On reconnaît ainsi : 1° qu'on ne peut obtenir de figure nodale nette en frappant le centre ; 2° que l'entretien électrique du mouvement ne peut s'effectuer que très mal, avec de grandes difficultés ; 3° que les disques ne produisent plus de son soutenu et musical, mais bien plutôt une sorte de bruit sonore, de tonalité assez vague quand on les frappe ; 4° qu'en faisant varier graduellement le degré d'encastrement ou plutôt de serrage, on fait varier cette tonalité (fait déjà signalé dans les téléphones ordinaires). Cette variation peut être de plus d'une octave pour des disques de

Digitized by Google

10 centimètres de diamètre et de $0^{mm},7$ d'épaisseur, d'une quarte pour des disques de 5 millimètres d'épaisseur, et même d'une seconde et plus pour les disques de 10 millimètres d'épaisseur.

Un disque téléphonique ainsi imparfaitement encastré est donc, au point de vue mécanique et élastique, un système très complexe et fort peu déterminé; on ne peut guère lui supposer applicables que les résultats les plus généraux de la théorie des disques vibrants, à bords parfaitement encastrés et considérés comme *fixes*, tels que l'élévation des premiers harmoniques du disque libre. Nous venons de voir ce résultat réalisé pour le son le plus grave du disque; mais il importe beaucoup de savoir s'il existe encore une série d'harmoniques analogues à ceux du disque non encastré.

A cet effet, imitant la méthode dont s'est servi M. Bourget pour l'étude des membranes circulaires, j'ai soumis des disques serrés dans une monture ordinaire de téléphone (par exemple de téléphone Gower) à l'action des vibrations de tuyaux d'orgue dont l'ouverture était placée au-dessous de leur centre.

Je me suis servi d'une série de vingt-six tuyaux produisant des sons croissant par intervalle de secondes majeures ou mineures; des appendices cylindriques en carton permettaient, en allongeant graduellement chacun d'eux, de passer du son de l'un à celui de l'autre sans discontinuité; j'obtenais ainsi une série continue de sons allant du la_2 à l'ut_6, c'est-à-dire dépassant de beaucoup les limites des sons de la parole articulée.

En versant du sable sur le disque maintenu horizontal, on cherche si, indépendamment des faibles mouvements inévitables communs aux disques et à la mon-

Digitized by Google

ture, il y a des sons que le disque renforce visiblement, en produisant des lignes nodales plus ou moins régulières, et qui correspondraient ainsi à ses harmoniques particuliers.

Voici les résultats obtenus avec un disque en fer très mince de $0^{mm},15$ d'épaisseur : les dessins représentent les lignes nodales irrégulières obtenues pour un certain degré de serrage du disque (fig. 5) ;

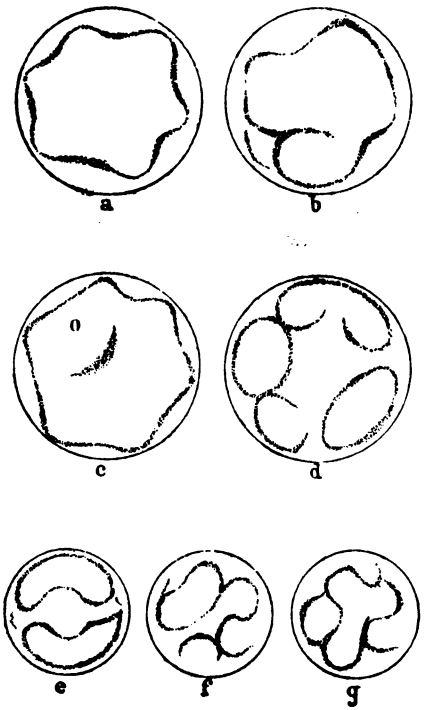

Fig. 5.

(*a*) correspond à l'ut_3 ; (*b*), aux sons compris entre si_3 et ut_4 ; (*c*), à ut_4 ; (*d*), à fa_4 ; (*e*), à $la\#_4$; (*f*), à $ré\#_5$; (*g*), à $fa\#_5$.

Digitized by Google

Entre les sons indiqués, sauf mi_8, qui a produit une ébauche de ligne nodale, tous les autres n'ont rien ou à peu près rien produit de sensible.

La *discontinuité* de ce qu'on peut appeler les sons particuliers du disque est donc bien évidente.

Si l'on soumet à cette expérience des disques de plus en plus épais, on reconnaît que, toutes choses égales d'ailleurs, le nombre des sons qui produisent dans le disque des nodales sensibles diminue. A partir de $0^{mm},5$ d'épaisseur, la série se réduit à un certain son et à des octaves pour lesquels le disque vibre en tous ses points; mais on peut admettre que pour ces épaisseurs le mode de mise en vibration n'est pas assez énergique, et que les séries d'harmoniques peuvent néanmoins exister en produisant des mouvements d'amplitude trop petite pour être directement visibles; mais cette circonstance ne saurait évidemment changer leur discontinuité en continuité.

En remplaçant l'action de tuyaux d'orgue par celle de la voix, en chantant des sons formant une échelle continue dans un tube dont l'extrémité est placée au-dessous du centre du disque, on obtient des résultats analogues aux précédents, mais beaucoup plus faibles.

En parlant, au lieu de chanter, les effets sont encore plus faibles.

En résumé, il paraît démontré que les mouvements correspondant aux sons particuliers de disques encastrés, comme ils le sont dans les téléphones, forment, comme ceux des disques vibrant librement, une échelle *discontinue;* dès lors ils ne suffisent point à expliquer la transmission d'une série *continue* de sons ou d'accords, et l'on est conduit ainsi d'une nouvelle

Digitized by Google

manière à admettre la *possibilité* de mouvements d'une autre espèce.

III. — Nous pouvons aller plus loin et montrer que cette *possibilité* est véritablement une *nécessité*.

En effet, prenons des disques de 2 millimètres d'épaisseur au moins et de 100 millimètres de diamètre : leur son fondamental et, par suite, leurs harmoniques, sont supérieurs à l'ut_8, lorsqu'ils sont encastrés. Si nous produisons devant ces diaphragmes une série continue de sons ou d'accords d'une hauteur inférieure à ut_8, ou bien si un homme parle devant eux en émettant ainsi des sons articulés qui sont toujours compris dans la gamme d'indice 3 au plus, il est impossible que les sons particuliers du diaphragme soient mis en jeu. Pourtant, avec des téléphones transmetteurs dont le diaphragme a 2, 3 ou 4 millimètres d'épaisseur, on entend fort bien, avec une faible intensité il est vrai, dans le récepteur, l'échelle continue de sons ou d'accords indiqués ci-dessus et la parole articulée avec son timbre. Il est donc *nécessaire* ici qu'il se produise dans le diaphragme des mouvements différents de ceux qui correspondent à la production du son fondamental et des harmoniques.

Les considérations précédentes, basées sur les lois de l'acoustique et de l'élasticité, présentent principalement un caractère théorique, bien que s'appuyant sur un certain nombre d'expériences très simples. Elles peuvent être confirmées par une seconde série de faits d'un caractère plus expérimental encore.

IV. — On peut agir sur le disque d'un téléphone, non plus directement, mais par l'intermédiaire de substances quelconques, susceptibles ou non d'émettre des sons propres, métalliques ou non, corps magnéti-

Digitized by Google

ques ou non, élastiques ou mous, fibreux ou cristallisés, homogènes ou hétérogènes, ainsi qu'on le voit dans l'énumération suivante des corps essayés : mica, verre, zinc, fer, cuivre, liège, caoutchouc, bois, papier, coton, plume, linge, cire molle.

Il suffit d'appuyer une lame de ces corps sur les bords destinés habituellement à visser le couvercle de l'instrument, emprisonnant ainsi une couche d'air plus ou moins épaisse entre le disque de fer et la plaque essayée.

On reconnaît que l'interposition de cette lame n'altère pas les propriétés téléphoniques, en particulier la reproduction du timbre, et ne fait même pas varier sensiblement l'intensité des effets, toutes choses égales d'ailleurs (*).

Pour éviter qu'on ne puisse attribuer ce résultat aux vibrations directes des parties latérales de l'instrument, on entoure le téléphone tout entier dans une épaisse couche d'ouate et on constate préalablement qu'on ne transmet rien quand on parle contre les parois, dans ces conditions.

La même précaution étant prise, en augmentant l'épaisseur de la lame interposée, on affaiblit bien en général, il est vrai, graduellement, l'intensité de l'effet produit; mais la hauteur et le timbre de la voix ne sont nullement altérés, et ce dernier au contraire devient de plus en plus net.

J'ai observé ce fait, par exemple, avec une lame de verre de 5 millimètres d'épaisseur, une lame de cuivre de $2^{mm},5$, une plaque de liège de 75 millimètres, un bloc de bois de 50 millimètres, une couche d'ouate de

(*) M. Ochorowicz avait déjà montré qu'on peut interposer une lame de caoutchouc entre la bouche et un téléphone.

Digitized by Google

20 millimètres, un livre broché de 50 millimètres, une couche d'édredon d'environ 30 centimètres entourant l'instrument de toutes part, une couche de sable de 5 centimètres.

Dans l'eau, l'effet produit est remarquable : quand l'instrument est entouré d'une couche d'eau de 2 ou 3 centimètres, il donne, quand on parle à la surface du liquide, des résultats un peu affaiblis, mais le timbre est parfaitement reproduit, et si on augmente jusqu'à 15 centimètres l'épaisseur de la couche d'eau, il n'y a pas de nouvel affaiblissement sensible.

V. — Au lieu de faire varier l'action extérieure sur les disques, on peut les mettre manifestement hors d'état de produire des sons fondamentaux et des harmoniques par le jeu de leur élasticité propre.

1° On sait, d'abord, qu'on construit de bons téléphones transmetteurs en prenant pour diaphragme une membrane quelconque sur laquelle est collé un petit morceau de fer, auquel cas il n'y a pas lieu de songer à des sons propres de ce fragment de fer : c'est même la forme primitive du transmetteur de M. G. Bell. Mais on peut agir sur les disques ordinaires : il suffit de les charger de petites masses en quelques points irrégulièrement distribués sur leur surface. On leur enlève ainsi ce qu'on peut appeler leurs propriétés *acoustiques* habituelles, mais nullement leurs qualités *téléphoniques*.

2° On peut agir sur la substance même du disque (*fig.* 6).

Pour cela, on prend deux disques aussi identiques que possible, au point de vue acoustique et téléphonique; on perce l'un d'eux comme une écumoire, de façon à enlever environ la moitié de la matière de la

Digitized by Google

plaque : celle-ci, acoustiquement, ne donne plus aucun son musical ; mais, téléphoniquement, elle donne absolument les mêmes effets que la première, seulement avec moins d'intensité ; mais il s'agit ici de la *qualité* et

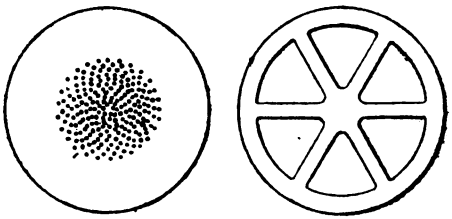

Fig. 6.

de la *nature* des phénomènes et non de leur intensité. Il faut prendre la précaution, dans cette expérience, d'encastrer avec la plaque un disque de papier fin de même diamètre, ou de recouvrir le téléphone d'une lame de caoutchouc, pour empêcher l'air mû par la voix de traverser la plaque et de produire une résonnance gênante dans la boîte même de l'instrument.

La première plaque est à son tour découpée en forme de roue à 5 ou 6 rayons étroits, soutenant un disque central dont la surface est un peu supérieure à celle du pôle magnétique en présence. Dans cette état, sa masse est diminuée de moitié, et elle donne les mêmes résultats téléphoniques que lorsqu'elle était pleine.

Dans ces deux expériences, il paraît vraiment bien difficile d'admettre la possibilité de mouvements de la plaque, caractérisés par une division en sections séparées par des lignes nodales.

3° En poussant à l'extrême les expériences précédentes on est conduit naturellement à essayer un système magnétique, manquant autant que possible

Digitized by Google

d'homogénéité et de consistance au point de vue élastique ou acoustique.

A cet effet, on peut prendre une toile métallique en fil de fer. En plaçant un disque de cette toile à la place du disque ordinaire du téléphone, de façon à ce qu'il ne soit pas en contact avec le pôle de l'aimant, en encastrant avec la toile une feuille de papier, pour éviter les effets de résonnance dus à l'introduction de l'air par les mailles de la toile, on obtient des effets de même nature qu'avec un disque en fer, mais avec une intensité moindre.

Il n'est d'ailleurs pas nécessaire d'encastrer la toile métallique ; il suffit de la fixer sur un support par trois points, à une petite distance du pôle de l'aimant.

On peut se servir de toiles à mailles de grandeur variable, depuis 1 millimètre carré jusqu'à $0^{mm},4$ et $0^{mm},3$; les toiles les plus serrées donnent les résultats les plus intenses, ce qui se conçoit fort bien, indépendamment de toute théorie, le nombre par unité de surface des éléments magnétiques susceptibles de réagir d'une manière quelconque sur l'aimant placé en face d'eux augmentant avec la finesse du tissu. Il paraît encore bien difficile de songer, avec un diaphragme magnétique de cette nature, à des mouvements transversaux d'ensemble, avec division en concamérations séparées par des lignes nodales.

Toutes les expériences qui viennent d'être indiquées ont été faites d'ailleurs avec des téléphones à champs magnétiques fort différents, savoir :

1° Un téléphone du système Bell avec aimant rectiligne, dont un pôle de forme circulaire est en face du diaphragme magnétique ;

2° Un téléphone du système Gower, où le diaphragme

Digitized by Google

est attiré par deux petits pôles contraires voisins, de forme rectangulaire allongée;

3° Un téléphone du système d'Arsonval agissant par deux pôles contraires concentriques, l'un circulaire intérieur, l'autre annulaire extérieur.

Tous les trois ont donné des résultats de même nature (à l'intensité près des phénomènes, qui n'est pas en question pour le moment).

On ne peut alors s'empêcher de penser que le mécanisme en vertu duquel les diaphragmes téléphoniques exécutent leurs mouvements, est tout au moins analogue, sinon identique, à celui par lequel tous les corps solides de forme quelconque, un mur par exemple, transmettent à l'une de leurs surface tous les mouvements vibratoires, simples ou complexes, successifs ou simultanés, de période variant d'une manière continue ou discontinue, qu'on produit dans l'air en contact avec l'autre surface. Ce serait un phénomène comme ceux qu'on caractérise en acoustique par le mot de *résonnance*.

Dans les diaphragmes d'épaisseur suffisante, ce genre de mouvements existerait seul; dans les diaphragmes minces, leurs mouvements d'ensemble correspondant à leurs sons *propres* et caractérisés par des formes particulières de lignes nodales, se superposeraient aux précédents, en vertu de la loi de la superposition des petits mouvements, toutes les fois que l'on émettrait des vibrations dont la période serait la même que celle de ces sons eux-mêmes : superposition peut-être plus fâcheuse qu'utile, d'ailleurs, car s'il en résulte en ce cas une augmentation d'intensité, c'est aux dépens de la reproduction du timbre, les harmoniques du diaphragme ne pouvant coïncider que par le plus grand

Digitized by Google

hasard avec ceux des sons qui mettraient en jeu le son fondamental de ce diaphragme.

Dans le premier cas, les plaques se comporteraient véritablement comme de simples *transmetteurs* de mouvements vibratoires, indépendamment de leur forme géométrique. Dans le second, elles agiraient toujours de la même manière, et de plus, à l'occasion, d'une manière en quelque sorte plus active, plus personnelle, d'après les lois de l'élasticité relatives à leur forme géométrique, plus ou moins modifiées par l'hétérogénéité de leur constitution moléculaire, et par l'indétermination et l'insuffisance de leur encastrement.

Il me semble qu'on se rendrait ainsi assez bien compte des mouvements généraux et complexes des diaphragmes téléphoniques transmetteurs, permettant la reproduction d'une échelle continue de sons successifs, et superposés en accords musicaux ou en séries, telles que celles que l'on considère dans l'explication du timbre; et, en même temps, on s'expliquerait les renforcements produits par les diaphragmes très minces, à certains points de cette échelle continue et les altérations du timbre qui les accompagnent généralement.

Le premier point de la théorie du téléphone transmetteur, savoir : la nature des mouvements du diaphragme, se trouverait par là même ramené à un phénomène connu d'acoustique ou d'élasticité.

[B] *Rôle du diaphragme au point de vue de la transformation d'énergie qui résulte de ses mouvements.*

Les mouvements du diaphragme se produisent dans un champ magnétique : il en résulte une transformation d'énergie mécanique cinétique en énergie magnétique

Digitized by Google

également cinétique, constituant le second point à étudier dans la théorie du transmetteur.

En remplaçant dans un téléphone Bell l'aimant permanent par un électro-aimant, on peut faire varier l'intensité du champ dans lequel est placé le diaphragme, et produire d'ailleurs des champs beaucoup plus intenses que ceux dont on se sert ordinairement.

En opérant de cette manière, on constate :

1° Que si le disque est simplement *fixé* sur ses bords sans être encastré complètement, en faisant varier l'intensité du champ, la hauteur du bruit produit par le choc sur le disque augmente comme si on l'encastrait de plus en plus ; mais cette variation de hauteur, même avec des champs intenses, est beaucoup plus petite que celle qui résulte de la pression sur les bords due à l'encastrement progressif. Avec des champs magnétiques ordinaires de téléphone, la variation en question est à peu près insensible.

2° Si le disque est fortement encastré, l'effet du champ est également à peu près insensible.(*).

(*) Si l'on *pose* des disques sur leur ligne nodale circulaire, à peu de distance du pôle d'un téléphone, les figures nodales ne sont pas sensiblement altérées; il en est de même de la *qualité* des sons produits par le choc et de leur *hauteur,* quand les disques sont bien plans.

Quand les disques sont un peu courbes, ce qui arrive souvent quand ils sont minces, la hauteur du son varie quand on les met à une petite distance de l'aimant; ce son s'élève quand la convexité est tournée vers le pôle; il s'abaisse, quand c'est la concavité. Avec des champs suffisamment intenses, la variation peut atteindre un intervalle d'une seconde mineure environ; mais la nodale n'est pas sensiblement altérée. C'est comme si, les disques ne changeant pas de diamètre, leur épaisseur augmentait légèrement dans le premier cas et diminuait dans le second. Je n'insiste pas pour le moment sur ce fait; mais il est bon de le connaître, car il est sensible, même avec le champ magnétique d'un téléphone Gower, par exemple, et il explique en même temps la difficulté d'entretenir électriquement le mouvement de plaques courbes, la période du son de la plaque libre étant différente de celle du son de la plaque attirée par l'électro-aimant d'entretien au moment même de l'attraction.

Digitized by Google

Il résulte de cette première observation que la présence du champ magnétique dans un téléphone ne change pas les faits précédemment indiqués relatifs aux effets de l'encastrement ni la conclusion qui en a été tirée.

En second lieu, il est évident que l'essentiel, pour la production des phénomènes téléphoniques, est la présence de ce champ magnétique : l'intensité de ces phénomènes dans le récepteur en dépend directement, suivant une loi plus ou moins complexe, et c'est par suite de variations de cette intensité aux divers points du champ que s'opère la transformation qui se manifeste par la production de courants induits dans la bobine enroulée autour du pôle magnétique. Il résulte de ce qui précède que ces variations, dues aux mouvements des points du diaphragme, ne sont pas nécessairement liées à la rigidité de ce diaphragme et aux qualités acoustiques ou élastiques qui correspondent à sa forme géométrique.

En songeant à la faible rigidité d'une toile métallique en fer, qui possède pourtant, ainsi que je l'ai montré, les propriétés téléphoniques; en concevant qu'on diminue graduellement cette rigidité jusqu'à arriver à une série de molécules de fer disséminées dans un champ magnétique et qui pourraient en quelque sorte être indépendantes les unes des autres, j'ai été conduit à l'idée qu'on pourrait se passer de diaphragme rigide ou non, et agir plus directemeut sur le champ magnétique même.

A cet effet, j'ai essayé tout d'abord, enlevant tout diaphragme, d'agir sur le pôle unique ou multiple de divers téléphones. On n'obtient alors rien de net dans un récepteur ordinaire : quelquefois on produit un effet

Digitized by Google

extrêmement faible, qui se traduit dans un téléphone récepteur par un son aigu très faible, se reproduisant quand on prononce la même consonne; mais il n'est pas possible de tenir compte d'un phénomène aussi faible et aussi confus, et il ne saurait entrer en rien en ligne de compte dans les expériences suivantes :

J'ai songé ensuite à matérialiser, pour ainsi dire, le champ magnétique avec de la limaille de fer jetée sur le pôle ou les pôles d'un téléphone. On obtient alors ce résultat remarquable : *Il suffit de quelques grains de limailles de fer dessinant dans l'espace des amorces de lignes de force sur le pôle d'un aimant de téléphone pour reproduire les sons musicaux et la parole articulée.*

Pour s'en assurer, on prend comme récepteur un téléphone ordinaire du système d'Arsonval, par exemple, et un transmetteur identique. On enlève le diaphragme en fer-blanc de ce dernier, puis on remet le couvercle portant une embouchure circulaire dont les dimensions sont à peu près égales à celles du pôle central de l'aimant.

On commence par parler sur l'aimant lui-même, à travers l'embouchure : on n'entend rien de sensible dans le récepteur.

On dévisse le couvercle, on pose une rondelle de papier mince sur l'aimant (pour éviter de remplir de limaille de fer l'intervalle entre les pôles de l'aimant de la bobine); on remet le couvercle; puis on prend une petite pincée de limaille de fer pesant environ un décigramme seulement, et on la laisse tomber à travers l'embouchure sur la rondelle de papier, où elle se dispose en forme de petites houppes dessinant des amorces de lignes de force; le papier se trouve d'ail-

Digitized by Google

leurs ainsi appliqué contre les pôles, ce qui permet de tourner le téléphone en tous sens, et même de le renverser sans que la limaille ni le papier ne bougent.

On obtient ainsi un appareil qui possède, sauf l'intensité des effets, toutes les propriétés d'un téléphone ordinaire. En particulier, si l'on parle sur la limaille à travers l'embouchure, comme on fait d'ordinaire sur le diaphragme, on entend dans le récepteur, très faiblement, il est vrai, mais avec une articulation nette, quelques mots des phrases prononcées.

Si, d'ailleurs, on veut éviter de parler directement sur la limaille, à cause des inconvénients que peut produire la vapeur d'eau exhalée par la bouche, on peut fermer l'embouchure avec une lame mince de mica, de verre ou de caoutchouc, ce qui n'altère en rien l'effet produit.

On ajoute ensuite, graduellement, de nouvelles quantités de limaille; les lignes de force se dessinent de mieux en mieux : l'effet devient de plus en plus intense. Mais en continuant à ajouter de la limaille, on arrive à un maximum d'effet, que l'addition d'une nouvelle quantité de limaille diminue nettement, circonstance intéressante sur laquelle je reviendrai plus tard.

Cet effet maximum est certainement de beaucoup inférieur, dans ces conditions, à l'effet du diaphragme en fer ordinaire, ce qui tient à ce que le nombre de molécules de fer par centimètre carré y est beaucoup moindre.

Après avoir obtenu ce premier résultat, j'ai cherché à augmenter l'intensité de l'effet produit. Pour cela, j'ai songé à ajouter à l'action mécanique *directe* des ondes aériennes sur les lignes de force en limaille, l'action de ces ondes sur un diaphragme non magné-

Digitized by Google

tique, ou du moins dont le pouvoir magnétique spécifique est extrêmement petit par rapport à celui du fer, de sorte que son effet particulier dans le champ de l'aimant est négligeable dans les conditions de l'expérience. Les mouvements propres de ce diaphragme servant de support à la limaille, devaient contribuer, sans être nuisibles dans ce cas, à augmenter les variations du champ.

C'est, en effet, ce qui s'est produit avec des diaphragmes minces tirés des substances les plus variées, savoir : carton, mica, verre, caoutchouc vulcanisé, zinc, aluminium, cuivre, etc.

Pour faire l'expérience, on découpe les disques de ces substances sous une épaisseur de deux à trois dixièmes de millimètre, en leur donnant les dimensions du diaphragme en fer du téléphone que l'on emploie, et on les dispose dans l'instrument comme on le fait de ce diaphragme même. Il suffit alors de laisser tomber de la limaille sur ces disques à travers l'embouchure du couvercle, comme on l'a indiqué tout à l'heure, et l'on obtient un téléphone transmetteur qui peut être retourné en tous sens, et dont les effets sont plus intenses que lorsque la limaille est posée sur le pôle même sans intermédiaire. On peut d'ailleurs remplacer le couvercle par une lame de mica, de verre ou de caoutchouc, qui n'altère pas les effets produits tout en protégeant la limaille et son support (*fig.* 7).

On arrive donc ainsi à construire un *téléphone à limaille de fer* L, dont les effets sont moins intenses, il est vrai, que ceux du même téléphone à diaphragme mince en fer, mais qui possède peut-être, à un degré plus élevé, les propriétés téléphoniques essentielles, et en particulier la reproduction du timbre de la pa-

Digitized by Google

role articulée; de plus il est réversible comme les autres et peut servir de récepteur, il est vrai, peu in-

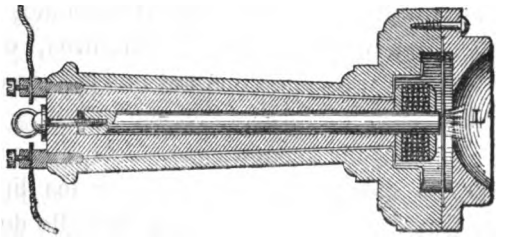

Fig. 7.

tense. Mais si l'on augmente l'intensité du champ magnétique, l'intensité des effets indiqués ci-dessus augmente notablement.

Par exemple, on prend un gros électro-aimant (tel que ceux qui servent à montrer les courants de Foucault) animé par un courant de 5 ou 6 ampères; on remplace le noyau aimanté d'un téléphone Bell par un noyau en fer doux de 4 à 5 centimètres de longueur dont on met une extrémité en contact avec l'un des pôles de l'électro-aimant : on obtient ainsi à l'autre extrémité un champ magnétique assez intense. En répétant avec le téléphone ainsi constitué les expériences ci-dessus, les effets obtenus sont plus intenses; si bieu, qu'avec un diaphragme en carton et de la limaille, on peut arriver à un résultat comparable, pour l'intensité, à celui qu'on obtient avec un téléphone ordinaire muni de son diaphragme de fer.

En résumé, la construction du téléphone à limaille de fer démontre nettement ces deux points :

1° La présence dans le champ magnétique d'un téléphone transmetteur de diaphragmes magnétiques

Digitized by Google

rigides ou non, n'est nullement *indispensable* pour produire les effets téléphoniques : mais ils sont *utiles* pour en augmenter l'intensité, en présentant par unité de volume un plus grand nombre de molécules magnétiques à l'action des forces extérieures, ou bien, comme on dit souvent, en opérant une grande concentration des lignes de force du champ.

2° Il suffit, pour produire ces effets, d'exercer des déformations mécaniques directes sur les lignes de force du champ réalisées avec de la limaille de fer.

Ce résultat paraît de nature à mettre mieux en évidence la transformation d'énergie mécanique en énergie magnétique cinétique qui constitue le fond même de la théorie du téléphone transmetteur.

THÉORIE DU RÉCEPTEUR

Un téléphone électro-magnétique récepteur se compose, d'une manière générale : d'un aimant à pôles unique ou multiples, entourés d'hélices, d'un diaphragme mince en fer ou en acier, de forme quelconque, encastré sur ses bords et placé très près des pôles de l'aimant.

Lorsqu'un transmetteur quelconque, téléphonique ou microphonique, fonctionne dans le circuit du récepteur, les hélices de celui-ci sont sillonnées de courants dont la nature intime n'est pas encore bien connue, mais (et cela suffit pour l'objet que nous avons en vue), par suite de la manière même dont ces courants sont produits, par exemple quand on *parle* sur le transmetteur, il est certain qu'ils résultent de la superposition d'effets complexes et éprouvent à chaque ins-

Digitized by Google

tant des variations continuelles dans toutes leurs propriétés soit qualitatives, comme leur *signe*, soit quantitatives, comme leur *intensité*.

L'étude de ces courants, de leur nature propre, de leurs variations est fort difficile et fort délicate, et nous la laissons de côté pour le moment. Les effets propres du récepteur commencent à partir du moment où ces courants lui arrivent et où s'opère la transformation d'énergie électro-cinétique en énergie magnétique dans l'aimant et dans le champ magnétique qui l'entoure.

Les recherches relatives à ces effets ont été faites à deux points de vue. Au point de vue *pratique*, en vue d'augmenter le rendement des récepteurs et l'intensité de leurs mouvements. Une quantité considérable de travaux ont été effectués à cet effet dans toutes les parties du monde et on travaille encore beaucoup de toutes parts dans cette voie. Je compte revenir bientôt sur les résultats acquis à cet égard; mais ce qui m'occupe en ce moment, c'est un second point de vue de la question des récepteurs, celui de la *théorie* de leurs effets.

Un grand nombre d'études intéressantes ont été faites aussi de toutes parts sur ce sujet, et leur bibliographie serait certainement très étendue. Du Moncel, principalement, a donné dans *La Lumière Électrique* une analyse de ces études, au fur et à mesure qu'elles étaient connues, et il a résumé les plus importantes dans les éditions successives de son livre sur le téléphone, en indiquant les noms de ceux qui les ont faites.

Je crois qu'on peut résumer les résultats ainsi acquis en vue d'éclaircir la théorie du récepteur dans les deux points suivants :

Digitized by Google

1° Toutes les parties d'un récepteur électro-magnétique : noyau, hélice, plaque, manche, etc., sont simultanément en vibration;

2° On peut employer dans les transmetteurs des diaphragmes en fer de toutes épaisseurs jusqu'à 15 centimètres.

Il résultait déjà du premier point, mis en lumière principalement par MM. Boudet de Paris, Laborde, A. Bréguet, Ader, du Moncel, que la présence du diaphragme n'était pas plus *indispensable* dans le transmetteur qu'elle ne l'est dans le récepteur, ainsi que je l'ai montré précédemment.

Cependant il faut bien remarquer que les effets *de beaucoup* les plus énergiques sont ceux de la plaque.

On n'a pu mettre hors de doute les vibrations du noyau et de l'hélice dans les récepteurs *ordinaires*, qu'en employant des courants transmetteurs extrêmement énergiques, et, quand on a voulu se servir de transmetteurs ordinaires, il a fallu opérer sur des récepteurs présentant des dispositions spéciales ou très simplifiées, comme l'ont fait particulièrement MM. Ader et du Moncel.

Il résultait du second point, indiqué déjà par M. G. Bell et nettement prouvé par M. A. Bréguet, qu'il y avait dans le récepteur *d'autres effets* que ceux qui pouvaient résulter des vibrations transversales correspondant au son fondamental et aux harmoniques du diaphragme.

On sait que du Moncel, appuyant une théorie sur ces deux catégories de faits, a soutenu que les effets du téléphone récepteur étaient principalement dûs à des vibrations moléculaires du noyau de l'électro-aimant (analogues à celles qu'avaient étudiées Page,

Digitized by Google

de la Rive, Wertheim, Reiss...) surexcitées et renforcées par le diaphragme fonctionnant comme une armature.

Voici du reste un passage extrait de la 4e édition (1882) de son livre sur le téléphone (p. 268), qui résume la théorie :

« Quelles que soient les conditions magnétiques du barreau, les courants induits de différente intensité qui agissent sur lui provoquent des modifications dans son état magnétique, d'où résultent des vibrations moléculaires par contraction et dilatation. Les vibrations se produisant également dans l'armature, sous l'influence des aimantations et désaimantations qui y sont déterminées par l'action magnétique du noyau, renforcent celles de ce noyau, en même temps que les modifications dans l'état magnétique du système se trouvent amplifiées par suite de la réaction des deux pièces magnétiques l'une sur l'autre. »

Il y a certainement du vrai dans cette théorie; mais elle est incomplète, en ce sens que les vibrations moléculaires du noyau du récepteur ne sont qu'un phénomène accessoire et non principal.

En tout cas, je crois qu'on peut présenter assez simplement la théorie du téléphone électro-magnétique récepteur, en se reportant aux faits qui m'ont servi de base pour la théorie du transmetteur, qui résultent d'études faites sur des téléphones *de formes ordinaires*, et qui ont été étendus à des récepteurs de même forme.

Il me suffira de les rappeler successivement en les résumant, et je n'aurai presque partout qu'à remplacer le mot *transmetteur* par le mot *récepteur*.

I. — Le récepteur est soumis constamment à des effets variables : les mouvements qui en résultent dans

Digitized by Google

le diaphragme ne peuvent être que *forcés :* ils ne peuvent pas correspondre en général aux sons *particuliers* de ce diaphragme (fondamental et harmoniques).

II. — Le diaphragme du récepteur, avec son encastrement indéterminé, ne peut, pas plus que celui du transmetteur, effectuer, en vibrant transversalement, une série *continue* de sons ou d'accords musicaux dont la hauteur varie graduellement : ses sons particuliers forment une série *limitée* et *discontinue*. A plus forte raison, ne peut-il, à l'aide de mouvements transversaux d'ensemble, effectuer les vibrations complexes nécessaires pour la reproduction du timbre d'une voix qui parle sur le transmetteur.

III. — Il est *nécessaire* que ce diaphragme prenne des mouvements d'un autre genre, car on peut lui donner, sans altérer ses propriétés de reproduction téléphonique des sons (intensité des effets mise à part), des épaisseurs telles (de 2 à 150 millimètres), que son fondamental et ses harmoniques soient beaucoup au-dessus du régistre de la voix humaine.

IV. — Ainsi que je l'ai indiqué pour le transmetteur, on peut interposer, entre l'oreille et le récepteur des lames d'une matière quelconque : les propriétés téléphoniques et, en particulier, la reproduction du timbre ne sont pas altérées par cette interposition.

V. — Un diaphragme fonctionne aussi bien comme récepteur que comme transmetteur, lorsqu'il est chargé de masses, même irrégulièrement distribuées ; il suffit, à la rigueur, pour en être convaincu, de songer que les diaphragmes du téléphone Gower, chargés de leur appareil d'appel, sont excellents.

Il en est de même quand on fend, perce, découpe le diaphragme.

Digitized by Google

VI. — Enfin, le téléphone transmetteur à limaille de fer, que j'ai décrit précédemment, est *réversible*, ainsi que je l'ai déjà indiqué, et peut fonctionner comme récepteur.

Il est donc bien démontré par cet ensemble de faits :

1° Que pour la réception, pas plus que pour la transmission, la rigidité du diaphragme n'est *indispensable ;*

2° Qu'il suffit, pour recevoir comme pour transmettre, de donner, en quelque sorte, un support matériel aux modifications rapides produites dans le champ magnétique du récepteur par les courants induits qui parcourent l'hélice ; on y arrive simplement avec de la limaille de fer qui se dispose suivant les lignes de force ;

3° Que le diaphragme ne sert qu'à *augmenter l'intensité* des effets ; d'abord, en concentrant les lignes de force du champ, et, en second lieu, en augmentant la masse d'air à laquelle sont transmis les mouvements résultant de la transformation d'énergie qui s'opère aux divers points du champ magnétique.

Quand le diaphragme est épais, les mouvements dont il est animé et qui se transmettent à l'air environnant et à l'oreille sont, comme lorsqu'il fonctionne en transmetteur, des mouvements de *résonance* indépendants de la forme extérieure.

Quand il est très mince, les mouvements particuliers correspondant aux sons qu'il peut produire (fondamental et harmoniques), en vertu de sa forme géométrique et de sa structure, en vibrant transversalement, peuvent se superposer aux précédents. En effet, il peut arriver alors que ces sons se trouvent dans les limites de hauteur où se meut ordinairement la voix humaine, de l'ut_2 à l'ut_4 ; mais alors, comme les harmoniques de la voix, pas plus que ceux des instru-

Digitized by Google

ments de musique usuels, ne peuvent coïncider avec ceux du diaphragme que par le plus grand des hasards, l'intensité des effets ne peut s'obtenir ainsi qu'aux dépens de la bonne reproduction du timbre. L'expérience ne laisse aucun doute sur l'exactitude de cette conséquence de la théorie.

Ainsi donc, en diminuant l'épaisseur du diaphragme, on perd en *qualité* ce qu'on peut gagner, pour ainsi dire, en *quantité* ou intensité. Mais, même sur ce dernier point, il y a un maximum pour le récepteur, comme je l'ai indiqué pour le transmetteur à limaille de fer. Pour un champ magnétique d'intensité donnée, il y a, toutes choses égales d'ailleurs, une épaisseur de diaphragme qui donne un effet téléphonique maximum. Ce résultat, analogue à celui qu'on trouve dans d'autres phénomènes électro-magnétiques, peut expliquer l'insuccès de beaucoup de tentatives faites, un peu au hasard, en vue d'augmenter l'intensité des effets des récepteurs téléphoniques électro-magnétiques.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

17348

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google